

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

подпись

инициалы, фамилия

« _____ » _____ 20 ____ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Использование ГИС-технологий для оценки ландшафтных и климатических
характеристик речных бассейнов

09.03.02 Информационные системы и технологии

Руководитель _____ доцент кафедры Б-ГИС, к.б.н. Е.В. Федотова

Выпускник _____ Р.В. Сандыкова
подпись, дата

Нормоконтролёр Е.В. Федотова

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись

« _____ » _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Сандыковой Р.В.

Группа: КИ13-21Б Направление (специальность): 09.03.02

Информационные системы и технологии

Тема выпускной квалификационной работы: «Использование ГИС-технологий для оценки ландшафтных и климатических характеристик речных бассейнов»

Утверждена приказом по университету № 2929/с от 07.03.2017 г.

Руководитель ВКР: Федотова Е.В., доцент кафедры Б-ГИС, с.н.с. ИЛ СО РАН к.б.н.

Исходные данные для ВКР: Цифровые модели рельефа, список рек, растровые данные о динамике изменения осадков, температуры.

Перечень разделов ВКР: введение; обзор литературы; исходные данные и программное обеспечение; формирование бассейнов рек и постройка первичных притоков рек; вычисление ландшафтных характеристик бассейнов рек; вычисление климатических характеристик в пределах бассейнов; использование зональной статистики ArcGIS и заполнение проекта QGIS; заключение, список использованных источников.

Перечень графического материала: слайды презентации.

Руководитель ВКР _____
подпись

Е.В. Федотова

Задание принял к исполнению _____
подпись

Р.В. Сандыкова

« ____ » _____ 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Использование ГИС-технологий для оценки ландшафтных и климатических характеристик речных бассейнов» содержит 40 страниц текстового документа, 11 использованных источников.

CRU, ЦМР, РЕЛЬЕФ, ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК, КЛИМАТ, ГИС, ГИДРОЛОГИЯ, ОСАДКИ, ТЕМПЕРАТУРА.

Гидросфера и атмосфера Земли находятся в постоянном движении и взаимодействии. Под воздействием фазовых переходов воды происходит функционирование глобального гидрологического цикла (ГГЦ).

Континентальный этап ГГЦ — сток с суши водных масс. Континентальное звено ГГЦ начинается с атмосферных осадков, выпадающих на сушу из воздушных масс океанического происхождения. Все это свидетельствует о неразрывной связи гидрологических и метеорологических процессов. В данной работе рассматривается поверхностный сток, а именно характеристики, влияющие на него.

Изучение стока рек является важной задачей изучения гидрологического цикла, важной как с точки зрения науки (прогнозы развития состояния водной среды), так и практики — для рационального ведения сельского, лесного хозяйства, развития рекреаций, охраны природной среды.

Цель работы: создание проекта в Quantum GIS, включающего собранные данные о ландшафтных, климатических и антропогенных (лесистость) характеристиках речных бассейнов для последующего анализа их влияния на сток рек.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: построить бассейны по данным цифровой модели рельефа, с использованием функций ArcGIS, построить реки; определить ландшафтные и климатические характеристики бассейнов; рассчитать вертикальную и горизонтальную расчлененность; создать проект QGIS, включающий все собранные данные.

В результате бакалаврской работы была достигнута цель — создание проекта QGIS, для гидрологического моделирования и анализа зависимости величины поверхностного стока от ландшафтных (высота над уровнем моря, экспозиция склонов, уклон, кривизна (стандартная, профильная, плановая)), климатических (среднемесячные температуры и осадки, среднегодовая температура и сумма осадков) и антропогенных (изменение лесистости) характеристик.

Цель достигнута, так как были выполнены все поставленные задачи.

Проект включает в себя растровые слои экспозиции, уклона, кривизны поверхности бассейнов, векторный слой бассейнов, векторный слой рек с данными о расчлененности рельефа, статистические данные о характеристиках и стоке рек в формате таблиц, связанных через поле id.

На основе данного проекта можно проводить дальнейший анализ влияния собранных характеристик на поверхностный сток рек.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор литературы	7
1.1 Обзор предметной области.....	7
1.2 Обзор данных проекта	8
2 Исходные данные и программное обеспечение	8
2.1 Программное обеспечение ArcGIS.....	8
2.2 Программное обеспечение QGIS.....	11
2.3 Цифровая модель рельефа.....	12
2.3 Данные о климате CRU	13
3 Формирование бассейнов рек и постройка первичных притоков рек.....	14
3.1 Определение бассейна реки с использованием средств ArcGIS Spatial Analyst 14	
3.2 Постройка первичных притоков реки.....	17
3.3 Создание слоя с описанием расчлененности рельефа бассейнов и вычисление горизонтальной расчлененности рельефа	19
4 Вычисление ландшафтных характеристик бассейнов рек.....	23
4.1 Вычисление экспозиции склонов поверхности	23
4.2 Вычисление уклона местности	26
4.3 Вычисление стандартной, профильной и плановой кривизны поверхности 28	
5 Вычисление климатических характеристик в пределах бассейнов.....	32
6 Использование зональной статистики ArcGIS и заполнение проекта QGIS.....	33
6.1 Вычисление характеристик с помощью зональной статистики ArcGIS.....	33
6.2 Добавление данных в проект ArcGIS.....	37
Заключение	38

Список использованных источников	39
----------------------------------------	----

ВВЕДЕНИЕ

Гидросфера и атмосфера Земли находятся в постоянном движении и взаимодействии. Под воздействием фазовых переходов воды происходит функционирование глобального гидрологического цикла (ГГЦ).

ГГЦ состоит из двух звеньев — океанического и континентального, связанных между собой атмосферным этапом – переносом воздушных масс и континентальным этапом — стоком с суши водных масс. Континентальное звено ГГЦ начинается с атмосферных осадков, выпадающих на сушу из воздушных масс океанического происхождения. Все это свидетельствует о неразрывной связи гидрологических и метеорологических процессов [1]. В данной работе рассматривается континентальный этап, а именно сток, и характеристики, влияющие на него.

Для решения прикладных задач в области проектирования и строительства различных гидротехнических сооружений, для оценки и рационального использования водных ресурсов в целях устойчивого развития страны и отдельных административных районов, для мониторинга экологического состояния речных бассейнов необходимо иметь достаточно полные сведения о гидрологических характеристиках и режиме водных объектов. В связи с этим перед гидрологами ставятся задачи выявления временных и пространственных связей между факторами, определяющими формирование гидрологического режима, и возможного их изменения под влиянием природных и антропогенных условий.

Для определения одной из главных расчетных гидрологических характеристик – стока рек разработано и применяется множество методов. Но ни один из них не может функционировать без использования физико-географических и гидрографических характеристик исследуемого района. До недавнего времени они определялись традиционными трудоемкими ручными измерениями на топографических картах. Интенсивное развитие компьютерной техники и информационных технологий в последнее время позволяет получать

нужные характеристики с помощью технологий географических информационных систем (ГИС) полнее и быстрее по сравнению с традиционными измерениями.

Геоинформационная технология (ГИС–технология) – это совокупность приемов, способов и методов применения средств вычислительной техники, позволяющая реализовать функциональные возможности ГИС для анализа исходных данных, выполнения расчетов и представления в картографической форме полученных результатов. Эта технология объединяет преимущества визуализации и географического анализа изучаемых объектов реального мира, которые предоставляет карта, с возможностью работы с базами цифровых данных. Кроме того, она позволяет представить результаты анализа в печатном виде. Большие возможности дает использование ГИС для анализа гидрологической информации, предсказания наводнений, управления водными ресурсами и других работ, где необходимо точно знать временное и пространственное распределение различных гидрологических характеристик и иметь возможность как оценки их состояния, так и прогноза возможных изменений [2].

В данной работе были применены ГИС-технологии для расчета характеристик исследуемых речных бассейнов; проведен статистический анализ.

Цель работы: создание проекта в Quantum GIS, включающего собранные данные о ландшафтных, климатических и антропогенных (лесистость) характеристиках речных бассейнов для последующего анализа их влияния на сток рек.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить построение бассейнов по данным цифровой модели рельефа, с использованием функций ArcGIS;
- построить сеть водотоков;
- определить ландшафтные и климатические характеристики (осадки, температура) в пределах бассейнов;

- рассчитать вертикальную и горизонтальную расчлененность;
- создать проект QGIS, включающий все собранные данные.

1 Обзор литературы

1.1 Обзор предметной области

Гидрологический цикл определяется климатическими и энергетическими переменными, такими как суточное количество осадков, минимальная и максимальная температура воздуха, солнечная радиация, скорость ветра, относительная влажность воздуха [3].

Водный баланс – соотношение за какой-либо промежуток времени прихода, расхода и аккумуляции воды для речного бассейна или участка территории, для озера, болота или другого исследуемого объекта. Приходная часть баланса воды в бассейне – это осадки, конденсат воды на почве, выход грунтовых вод. Расходная часть водного баланса – это испарение с почвы, испарение растениями, поверхностный сток, просачивание в подземные воды.

Особенности рельефа, такие как, высота над уровнем моря, крутизна склонов, их экспозиция и кривизна, расчлененность рельефа также определяют особенности гидрологического цикла, поскольку определяют условия солнечной освещённости, скорости и направления ветров, микроклимат отдельных частей бассейна.

Изучение стока рек является важной задачей изучения гидрологического цикла, важной как с точки зрения науки (прогнозы развития состояния водной среды), так и практики – для рационального ведения сельского, лесного хозяйства, развития рекреаций, охраны природной среды.

1.2 Обзор данных проекта

В рамках диплома был создан проект географических данных, на основе которых возможен последующий глубинный анализ стока рек.

Проект включает в себя:

- данные о лесистости в процентах от площади бассейна в формате таблиц Excel;
- данные о климатических показателях (среднемесечные температуры (градусы) и количество осадков (мм); среднегодовые температуры и сумма осадков) в формате таблиц Excel;
- ландшафтные особенности бассейнов (высота над уровнем моря (м), крутизна склонов (градусы), экспозиция склонов (градусы), кривизна склонов (относительная единица), расчлененность рельефа (горизонтальная и вертикальная (m^{-1}))).
- векторный слой бассейнов (наименование, идентификатор(id), площадь) в формате shp;
- векторный слой расчлененности рельефа бассейнов (наименование, идентификатор(id), площадь (m^2), длина реки (м), горизонтальная расчлененность (m^{-1}), вертикальная расчлененность (m^{-1})).

2 Исходные данные и программное обеспечение

2.1 Программное обеспечение ArcGIS

На данный момент существует множество решений, позволяющих проводить редактирование растровой и векторной информации, создавать новые векторные слои, производить различные преобразования. Данные решения в основном разработаны зарубежными компаниями. Основными приложениями являются:

– семейство геоинформационных программных продуктов компании ESRI ArcGIS;

– свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS.

Из спектра продуктов, позволяющих обрабатывать пространственные данные, создавать новые и производить анализ был выбран программный продукт ArcGIS, входящий в семейство программных продуктов американской компании ESRI. Выбор обусловлен наличием лицензии на программу ArcGIS 10.1.

ArcGIS for Desktop — это группа настольных продуктов семейства ArcGIS, предоставляющая весь необходимый инструментарий для полноценной работы с географической информацией: создание и редактирование данных, оформление и публикация карт, построение запросов и анализ информации.

ArcGIS предоставляет пользователям следующие функции:

1. Пространственный анализ. ArcGIS for Desktop включает сотни инструментов для проведения пространственного анализа. С их помощью пользователь может превратить данные в источник для получения новой информации, оптимизировать решение множества ГИС-задач, таких как: расчет плотности и расстояния, выполнение статистического анализа, анализ наложения (оверлей) и близости.

2. Управление данными. Продукт поддерживает более чем 70 форматов, что позволяет объединить в проекте разнородные данные для отображения и последующего анализа. Инструменты для создания, организации и управления пространственной, табличной, описательной информацией предоставляют вам целый спектр возможностей: поиск географической информации; создание, просмотр и управление метаданными; оптимизация схем баз геоданных.

3. Картографирование и визуализация. Продукт предоставляет создание качественной картографической продукции без необходимости использования специализированных программ для графического дизайна. В ArcGIS for Desktop доступны: большая библиотека условных обозначений,

готовые шаблоны карт, легко настраиваемые под ваши задачи, коллекция дополнительных элементов для оформления карт.

4. Расширенное редактирование. ArcGIS for Desktop обеспечивает простое и быстрое создание и редактирование данных. Большое количество дополнительных инструментов и настроек помогут в решении специализированных задач, например, при одновременном изменении нескольких объектов, точных геометрических построениях, обнаружении и решении конфликтов между объектами. Поддержка многопользовательского редактирования позволяет настроить рабочий процесс внутри организации, обеспечить доступ к одним и тем же данным сразу для нескольких отделов.

5. Геокодирование. После геокодирования вашей адресной базы вы можете отобразить все местоположения на карте, выявить существующие взаимосвязи и логику пространственного распределения.

6. Картографические проекции. Благодаря поддержке большого числа географических систем координат и проекций в ArcGIS for Desktop, вы можете объединить в вашем проекте данные из разнородных источников. Встроенные алгоритмы пересчета гарантируют точность при отображении и редактировании исходных данных, проведении вычислений и анализа, построении карт.

7. Изображения. ArcGIS for Desktop предоставляет различные варианты работы с изображениями (растровыми данными). Они могут выступать в качестве фона (подложки) для тематических векторных слоев, использоваться в пространственном анализе, поддерживается дополнительная настройка отображения наборов растровых данных, создание мозаик.

8. Обмен данными. Пользователи могут подключить базовые карты, найти данные, опубликовать свою карту для всех желающих или для указанной группы пользователей.

9. Кастомизация. Пользовательский интерфейс легко настраивается в соответствии с задачами и предпочтениями пользователя: пользователь может добавить/удалить кнопки, пункты меню, изменить размещение окон и панелей инструментов [4].

В работе использовался модуль Spatial Analyst, который имеет широкий выбор инструментов растрового моделирования и анализа объектов, позволяет создавать, строить запросы, картографировать и анализировать растровые данные, выполнять векторно-растровый анализ.

2.2 Программное обеспечение QGIS

QuantumGIS (QGIS) - это дружелюбная к пользователю географическая информационная система (ГИС) с открытым кодом, распространяющаяся под GNU General Public License. QGIS является проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Она работает на Linux, Unix, Mac OSX, Windows и Android, поддерживает множество векторных, растровых форматов, баз данных и обладает широкими возможностями [5].

Целью создания QGIS было сделать использование геоинформационных систем легким и понятным для пользователя [6].

Возможности QGIS:

- просмотр данных: можно просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат;
- исследование данных и компоновка карт. С помощью удобного графического интерфейса можно создавать карты и исследовать пространственные данные;
- управление данными: создание, редактирование и экспорт. В QGIS можно создавать и редактировать векторные данные, а также экспортировать их в разные форматы. Для возможности редактировать и экспортировать в другие форматы растровые данные, необходимо сначала импортировать их в GRASS;
- анализ данных — возможность анализировать векторные пространственные данные. В настоящее время QGIS предоставляет возможность использовать инструменты анализа, выборки, геопроецирования, управления геометрией и базами данных.

В данной работе программа QGIS использовалась для хранения проекта полученных данных, так как она обладает более понятным и удобным интерфейсом для связывания и обращения к данным.

2.3 Цифровая модель рельефа

Наиболее распространенные цифровые данные формы поверхности Земли – это цифровые модели рельефа на основе ячейки (ЦМР). Эти данные используются в качестве входных для количественной оценки характеристик земной поверхности.

Цифровая модель рельефа – это растровое представление непрерывной поверхности, обычно ссылающееся на поверхность Земли. Точность этих данных определяется в первую очередь разрешением (расстояние между точками образца). Другие влияющие на точность факторы - это тип данных (целочисленные или с плавающей точкой) и фактическая выборка поверхности при создании оригинальной ЦМР [7].

Работа с ЦМР производилась во всемирной системе геодезических параметров Земли 1984 года (WGS84).

Слой рельефа создаётся из файлов цифровой модели рельефа формата SRTM 3 arcsec. Каждый файл имеет формат TIFF, и охватывает территории Центральной Сибири. Данные взяты с сайта USGS [8].

Некоторые реки расположены севернее 60°, где данные ЦМР SRTM отсутствуют. В данных случаях использовалась модель ASTER Global Digital Elevation (GDEM), которая охватывала северные широты.

ASTER GDEM (ASTGTM) охватывает Земную поверхность между 83° северной широты и 83° южной широты и состоит из 22,702 плитки. Плитки, которые содержат по меньшей мере 0,01% площади Земли. ASTER GDEM распространяется в формате GeoTIFF файлов с географическими координатами (широта, долгота).

В случае, когда река охватывает несколько сцен ЦМР, было произведено объединение:

- создание набора растровых данных («Управление данными» / «Растр» / «Набор растровых данных» / «Создать набор растровых данных»);
- операция «Мозаика» для добавления данных в ранее созданный «набор растровых данных» («Управление данными» / «Растр» / «Набор растровых данных» / «Мозаика»).

2.3 Данные о климате CRU

Данные о климатических показателях взяты с ресурса <http://www.cru.uea.ac.uk> [9].

Группа Climatic Research (CRU) была создана в Школе наук об окружающей среде (ENV) в Университете Восточной Англии (UEA) в Норидже в 1972 году, основателем является профессор Hubert H. Lamb.

Climatic Research Unit (CRU) – климатическая исследовательская группа, широко известная, как одно из ведущих мировых учреждений, занимающееся изучением естественного и антропогенного изменения климата. Группа разработала ряд наборов данных, широко используемых в исследованиях климата, включая глобальную запись температуры, используемую для мониторинга состояния климатической системы, а также статистические пакеты программного обеспечения и климатических моделей.

Целью CRU является улучшение научного понимания:

- о прошлом климатической истории и его влиянии на человечество;
- о ходе и причинах изменения климата в течение инструментального периода;
- о перспективах изменения в будущем.

Для работы были загружены данные об осадках и температуре за 1930 по 2015 год, представленные в растровом формате (netCDF), с географической

привязкой WGS84. Данные наглядно показывают динамику изменения этих показателей, и скомпонованы на основе интерполяции.

3 Формирование бассейнов рек и постройка первичных притоков рек

3.1 Определение бассейна реки с использованием средств ArcGIS Spatial Analyst

Цифровая модель рельефа (ЦМР), свободная от локальных понижений – ЦМР без понижений – это нужные входные данные для процесса направления потока. Наличие локальных понижений может привести к ошибочному растру направления потока. В некоторых случаях в данных могут быть правильные локальные понижения. Важно хорошо понимать морфологию области, чтобы знать, какие пространственные объекты могут в действительности иметь локальные понижения на поверхности Земли, а какие просто являются ошибками в данных.

Инструмент Заполнение (Fill) использует различные инструменты дополнительного модуля Spatial Analyst, включая некоторые инструменты гидрологического анализа, для создания ЦМР без понижений. Для этого инструмента требуются входная поверхность, лимит заполнения и выходной растр. Если локальное понижение заполняется, он заполняется до точки стока, минимальной высоты вдоль границы водораздела.

Инструмент «Направление стока» использует поверхность в качестве входных данных и выдает растр, показывающий направление стока каждой ячейки. Направление стока определяется направлением наиболее крутого спуска, или максимального понижения, из каждой ячейки. Оно вычисляется следующим образом:

$$maximum_drop = change_in_z_value / distance * 100$$

Расстояние вычисляется между центрами ячеек. Следовательно, если размер ячейки принять за единицу, расстояние между двумя ортогональными ячейками будет равно 1, а расстояние между диагональными ячейками – $1,414$ (квадратный корень из 2). Если максимальное понижение высоты до ближайших ячеек одинаково в нескольких направлениях, область соседства расширяется до тех пор, пока не будет найден самый крутой спуск. Если найдено направление самого крутого понижения, выходной ячейке дается значение, представляющее это направление.

Инструмент «Суммарный сток» вычисляет суммарный сток как взвешенную сумму всех ячеек, сток из которых попадает в каждую ячейку вниз по склону выходного растра. Если не предоставлено растра весов, каждой ячейке назначается вес 1, а значением ячеек выходного растра является количество ячеек, впадающих в каждую ячейку.

На диаграмме ниже рисунок наверху слева изображает направление перемещения из каждой ячейки, а правый верхний рисунок – количество ячеек, впадающих в каждую ячейку.

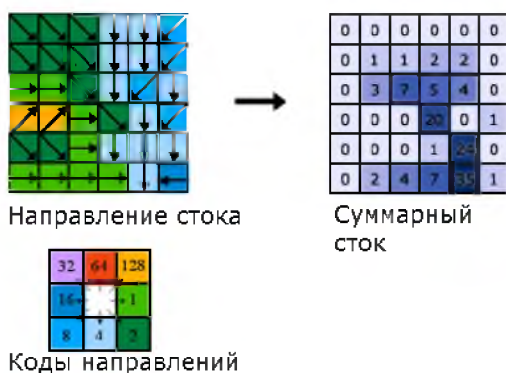


Рисунок 1 – Ячейки «Направление стока», «Суммарный сток»

Водораздел – это область вверх по склону, которая распределяет сток – особенно воду – в общую «точку слива» в качестве концентрированного дренажа. Он может быть частью большего водосборного бассейна, а также может содержать меньшие бассейны, называемые подбассейнами. Границы между водоразделами называются линиями разграничения стока. «Точка

слива», или точка устья – это точка, в которой вода вытекает из водосборной области. Это самая низкая точка вдоль границы водораздела.

Инструмент «Водосборная область» определяет водосборную область, расположенную выше набора ячеек раstra.

Перед началом работы были сопоставлены слои рек с цифровой моделью рельефа.

Для автоматизированного построения бассейна реки в ArcGIS существует инструмент построения водосборной области. Операция выполняется за несколько шагов (раздел «Гидрология»):

- «Заполнение» – заполняет локальные понижения в растре поверхности для удаления небольших ошибок и неточностей, присущих данным;

- «Направление стока» выполняется автоматически, используя слой «Заполнение»;

- «Суммарный сток», исходными данными является слой «Направление стока» – необходимо для более точной установки устья реки;

- создан shape-слой с точками устьев, который является указателем устья реки: «контекстное меню рабочей папки» / «Новый» / «Shape-файл» (точечный слой). В режиме редактирования были поставлены точки в устье реки (в месте, где река впадает в другую);

- «Водосборная область», после обработки получен растровый слой бассейна реки;

- «Конвертация» / «из раstra» / «в полигон».

На рисунке 2 проиллюстрировано расположение бассейнов.

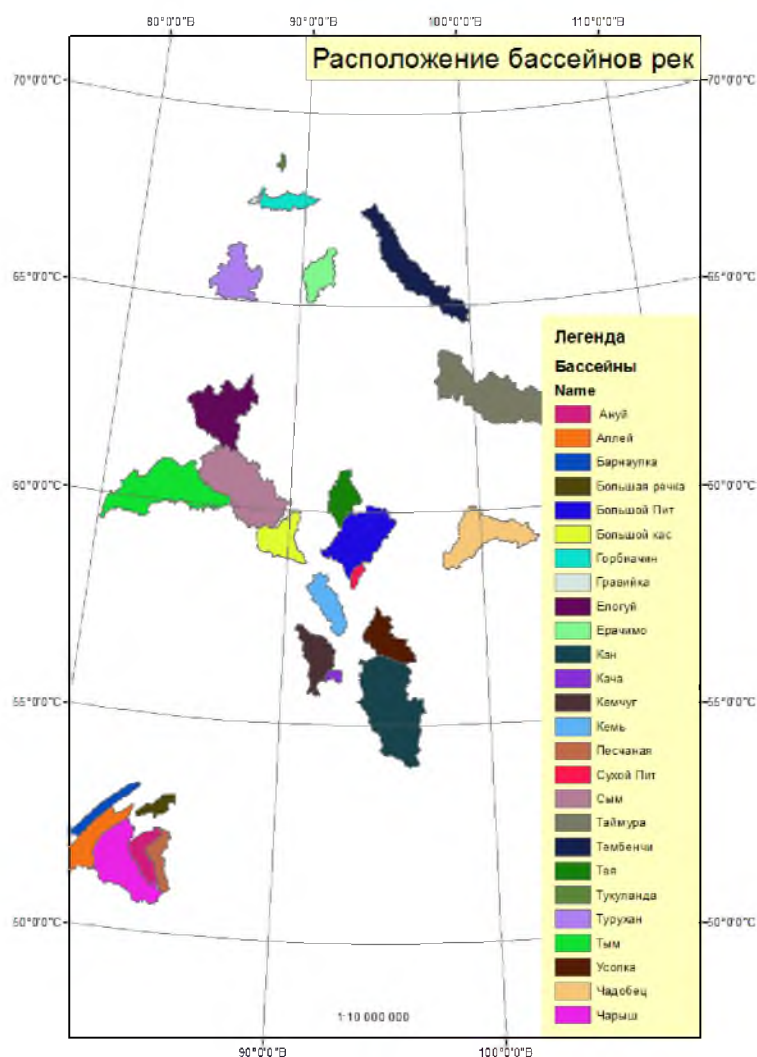


Рисунок 2 – Карта «Расположение бассейнов»

Бассейны расположены в разных климатических поясах для более точной оценки влияния климатических характеристик на сток.

3.2 Постройка первичных притоков реки

Инструмент «Извлечь по маске» извлекает ячейки растра, соответствующие площади, ограниченной маской. Маска представляет собой векторный слой (полигоны бассейнов).

Входными данными для построения притоков реки являются мозаики (растровый слой) и построенные полигоны бассейнов (векторный слой).

Для начала необходимо произвести вырезание раstra по маске бассейна: ArcToolbox => Инструменты Spatial Analyst => Извлечение => «Извлечь по маске».

Построение первичных притоков происходит в несколько шагов:

- инструмент «Направление стока»;
- инструмент «Суммарный сток»;
- инструмент «Условия» – «Установить ноль».

Входными данными является суммарный сток, идентифицировалось значение рек, было введено условие в инструмент «Value <X», где X есть идентифицированное значение, значение «ложь», для данного инструмента выбран «1».

В результате был получен растровый слой сети водотоков, который конвертируется в векторный с объектами полилиний.

Для корректного высчитывания длины рек первичные притоки были вырезаны, осталась только главная река.

Результат представлен на рисунке 3.

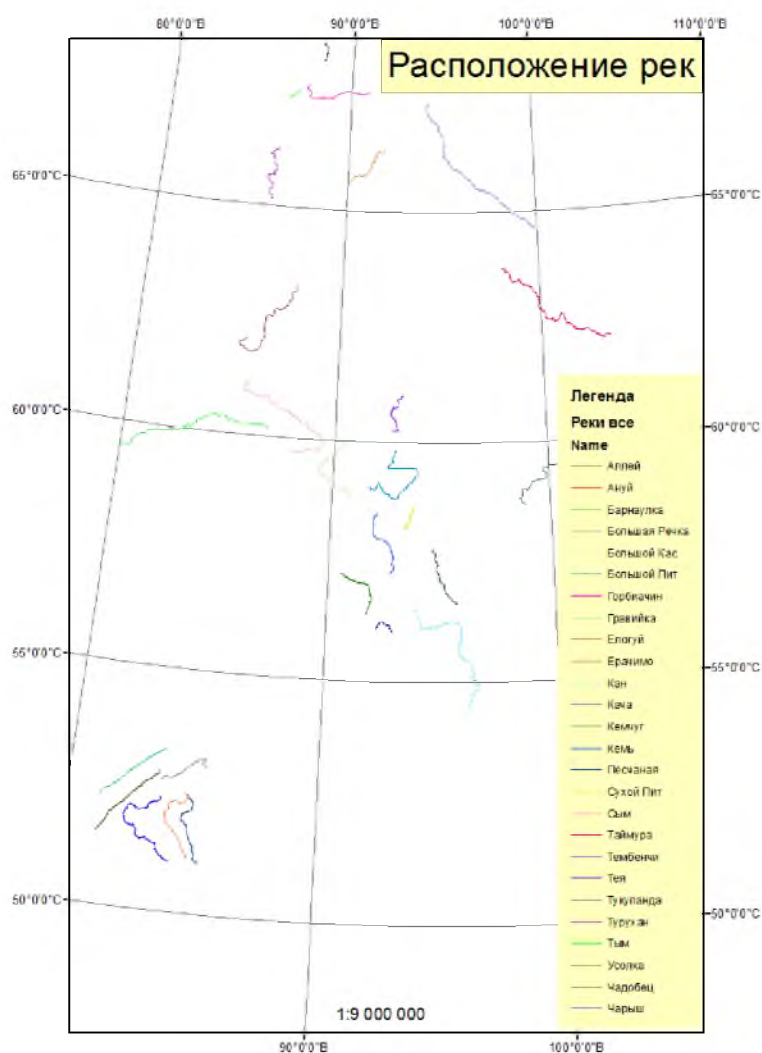


Рисунок 3 – Расположение рек

В работе представлено 26 рек, расположенные в разных климатических зонах, имеющие разную длину.

3.3 Создание слоя с описанием расчлененности рельефа бассейнов и вычисление горизонтальной расчлененности рельефа

Понятия «горы» и «равнины» обычно связывают с морфологическими чертами рельефа. Равнины – это пространства Земли, для которых характерны небольшие различия высот поверхности.

По абсолютной высоте выделяют:

- впадины, т.е. равнины, залегающие ниже уровня моря;
- низкие равнины (низменности), имеющие высоту от 0 до 200 метров;
- возвышенные равнины – 200-500 м;
- высокие равнины (плато) – 500-1500 м.

По характеру поверхности равнины бывают:

- наклонные. Пример: Западно - Сибирская низменность наклонена к северу;
- ступенчатые, пример: Великие Американские равнины;
- вогнутые, пример: Туранская низменность;
- плоские.

По глубине и степени расчленения выделяют равнины:

- плоские нерасчлененные, или слабо расчлененные, амплитуда высот у них обычно не превышает 10 м на 2 км расстояния;
- мелкорасчлененные, амплитуда высот составляет от 5 до 25 м на 2 км расстояния;
- глубокорасчлененные, амплитуда составляет от 20 до 200 м на 2 км расстояния.

Горы – это сильно расчлененные участки земной поверхности, высоко поднятые над уровнем Океана. При этом горы имеют единое основание, возвышающееся над прилегающими равнинами, и состоит из множества положительных и отрицательных форм рельефа. Гора – положительная форма рельефа, поднимающаяся над относительно ровным пространством не менее, чем на 200 м. Со всех сторон гора ограничена склонами. Переход от склонов к равнине – это подошва горы. Самая высокая часть горы – ее вершина. При очень пологих склонах положительная форма рельефа с высотой более 200 м называется холмом. Пример: Средне - Русская возвышенность имеет холмистый рельеф. Горные хребты – это линейно вытянутые крупные положительные формы рельефа. Высота их склонов определяется глубиной расчленения.

Крутизна склонов зависит, в основном, от характера горных пород, климата и возраста гор. Пример: Крым и Кавказ. Самая высокая часть хребта – это его гребень. Возвышающиеся участки гребней образуют вершины хребта, а наиболее низкие – перевалы. Широкие перевалы называют седловинами, а глубоко врезанные – горными проходами. Горные хребты, соединяясь, образуют горные цепи, протягивающиеся на большие расстояния. Горная страна, расположенная высоко над уровнем моря и состоящая из относительно ровных участков земной поверхности, называется нагорьем. Очень большие площади поднятий, которые тянутся через континенты и океаны называются горными системами. Пример: Кордильеры, Анды. Переход от гор к соседним равнинам бывает часто постепенным. Это холмистые или гористые предгорья. По высоте выделяют низкогорья, среднегорья и высокогорья. Ниже представлена таблица высотных характеристик гор.

Таблица 1 — Высотные характеристики гор.

Тип гор	Абсолютная высота, м	Глубина расчленения на 2 км расстояния, м
Низкогорья	До 800	150-450
Среднегорья	От 800 до 2000	250-1000
Высокогорья	Более 2000	Более 1000

Для характеристики вертикальной и горизонтальной расчлененности территории используют ряд показателей.

Степень вертикального расчленения территории характеризуется глубиной расчленения рельефа, отражающей превышение водоразделов над базисами эрозии внутри элементарных бассейнов. Этот показатель определяется как разность наибольшей и наименьшей абсолютных высот по каждому элементарному бассейну. В качестве элементарного бассейна принимают бассейн каждого единичного водотока с постоянным или пересыхающим течением (или бассейн единичного озера). Для карт глубины расчленения рельефа принята шкала относительных высот со следующими ступенями: для

равнинного рельефа наиболее типичны ступени 1-5, для предгорий 3-6, для среднегорного рельефа 4-6, для высокогорного 6-8.

Горизонтальное расчленение рельефа характеризуется длиной гидрографической сети на 1 км² площади, а также средней шириной водосборного бассейна [10].

Создание нового векторного слоя «Реки», объединяющего данные о площади бассейна и длине рек, происходит в разделе ArcGIS «Каталог» («Новый» / «Shape-file»). Тип геометрии слоя — линия.

Вычисление горизонтальной расчлененности происходит с помощью инструмента «Калькулятор поля». Данные о вертикальной расчлененности рельефа входят в состав зональной статистики проведенной на основе ЦМР, и включены в атрибутивную таблицу слоя.

Для вычисления горизонтальной расчлененности, необходимо было иметь корректные данные о площади и длине рек, поэтому была выполнена проверка рассчитанных показателей с результатами других источников. В случае несовпадения выполнено исправление. Информация о длине рек взята с научно-популярной энциклопедии «Вода России» [11].

На рисунке 4 представлена атрибутивная таблица слоя «Реки_все».

FID	Shape *	Id	Длина реки	Name	S м 2	Верт расчп	Гориз расч
4	Полилиния	1	547000	Чарыш	22000000000	2466	0,000025
13	Полилиния	2	639000	Турухан	35300000000	941	0,000018
11	Полилиния	3	64025,4	Тукуланда	562000000	694	0,000114
14	Полилиния	4	571000	Тембенчи	21600000000	568	0,000026
0	Полилиния	5	454000	Таймура	32500000000	876	0,000014
10	Полилиния	6	694000	Сым	31600000000	5818	0,000022
3	Полилиния	7	256796	Песчаная	5659000000	1837	0,000045
7	Полилиния	8	356000	Камь	8940000000	254	0,00004
9	Полилиния	9	79053,8	Кача	1272000000	573	0,000062
1	Полилиния	10	620791	Кан	36900000000	2503	0,000017
2	Полилиния	11	218000	Ерячимо	9140000000	882	0,000024
12	Полилиния	12	65574,9	Гравийка	364000000	200	0,00018
6	Полилиния	13	280323	Большая Речка	3489000000	232	0,00008
8	Полилиния	14	460634	Большой Кас	11200000000	302	0,000041
5	Полилиния	15	828000	Аллей	21100000000	384	0,000039
23	Полилиния	16	950000	Тым	32300000000	2311	0,000029
24	Полилиния	17	443000	Елогуй	25100000000	1688	0,000018
21	Полилиния	18	239000	Горбичин	6250000000	1083	0,000038
17	Полилиния	19	415000	Большой Пит	21700000000	1086	0,000019
20	Полилиния	20	261000	Тя	8690000000	2975	0,00003
15	Полилиния	21	79180,5	Сухой Пит	1506000000	1234	0,000053
16	Полилиния	22	441000	Кемчуг	10300000000	656	0,000043
22	Полилиния	23	647000	Чадобец	19700000000	460	0,000033
19	Полилиния	24	356000	Усолка	10800000000	480	0,000033
25	Полилиния	25	327000	Ануй	6930000000	2269	0,000047
18	Полилиния	26	221354	Барнаулка	5361000000	183	0,000041

Рисунок 4 – Атрибутивная таблица слоя «Реки_все»

Таким образом, в анализе включены все перечисленные в таблице реки.

4 Вычисление ландшафтных характеристик бассейнов рек

4.1 Вычисление экспозиции склонов поверхности

Инструмент «Экспозиция» устанавливает направление уклона максимальной скорости изменения значений от каждой ячейки до соседних. Ее можно рассматривать как направление уклона. Значения всех ячеек выходного растра указывают направление по компасу, с которым сталкивается поверхность в этом местоположении. Оно измеряется по часовой стрелке в градусах от 0 (север) до 360 (снова север), проходя полный круг. Плоским областям, не имеющим направления вниз по склону, дается значение -1.

Значение каждой ячейки в наборе данных экспозиции указывает на направление вперед уклона ячейки.

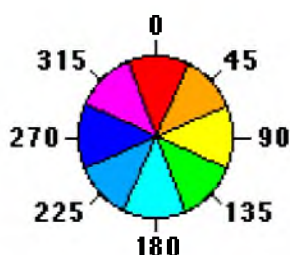


Рисунок 5 – Направление инструмента «Экспозиция»

На рисунке 5 показан входной набор данных рельефа и выходной растр экспозиции.

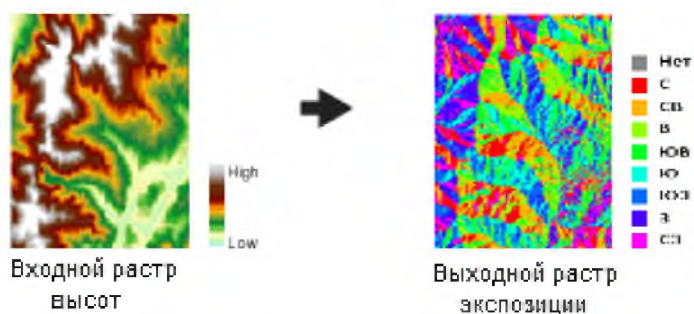


Рисунок 6 – Растр после операции «Экспозиция»

Для вычисления экспозиции местности необходимо использовать спроецированную систему координат. Проекция выбрана равноплощадная коническая Альберса.

Для построения экспозиции поверхности использовался инструмент «ArcToolbox» / «Spatial Analyst» / «Поверхность» / «Экспозиция»

Алгоритм инструмента «Экспозиция»:

Шаг 1. Скользящее окно размером 3 x 3 ячейки проходит через каждую ячейку на входном растре, и для каждой ячейки, расположенной в центре окна, с применением алгоритма, учитывающего значения восьми соседних ячеек, вычисляется значение экспозиции. Ячейки обозначаются буквами от а до і, при этом буквой е обозначена ячейка, для которой вычисляется экспозиция.

Шаг 2. Степень изменения по направлению x для ячейки е вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

Шаг 3. Степень изменения по направлению y для ячейки е вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

Шаг 4. С учетом степени изменений по обоим направлениям, x и y, для ячейки е, экспозиция вычисляется с использованием следующего уравнения:

$$\text{aspect} = 57.29578 * \text{atan2} ([dz/dy], -[dz/dx]).$$

По умолчанию определена следующая схема классификации «Экспозиции» (рисунок 6):

Код	Направление уклона	Диапазон угла экспозиции
-1	Плоский	Нет уклона
1	Север	0° – 22.5°
2	Северо-восток	22.5° – 67.5°
3	Восток	67.5° – 112.5°
4	Юго-восток	112.5° – 157.5°
5	Юг	157.5° – 202.5°
6	Юго-запад	202.5° – 247.5°
7	Запад	247.5° – 292.5°
8	Северо-запад	292.5° – 337.5°
9	Север	337.5° – 360°

Рисунок 7 – Схема классификации «Экспозиции»

Входными данными для данного инструмента является ЦМР, обрезанный по маске бассейна реки, созданной ранее. Вычисление происходит через операцию «Экспозиция» (раздел модуля Spatial Analyst «Поверхность»).



Рисунок 8 – Экспозиция склонов

Результатом процедуры является растровый слой, где значение пикселя есть градус направления склона на сторону света (Север, Юг и т.д.) в данной точке.

4.2 Вычисление уклона местности

Для каждой ячейки инструмент «Уклон» вычисляет максимальную степень изменения в значении z между конкретной ячейкой и соседними с ней ячейками. По сути, максимальная степень изменения в значениях высоты на единицу расстояния между ячейкой и восемью соседними с ней ячейками определяет самый крутой спуск вниз по склону из ячейки.

Концептуально, инструмент подбирает плоскость для z -значений из окрестности размером 3×3 ячейки вокруг обрабатываемой или центральной ячейки. Значение уклона этой плоскости вычисляется с использованием методики усредненного максимума. Направление плоских граней является экспозицией обрабатываемой ячейки. Чем меньше значение уклона, тем более плоской является земная поверхность; чем больше значение уклона, тем более крутые склоны расположены на поверхности.

Выходной растр уклонов может быть вычислен в двух различных единицах измерения, в градусах или в процентах («процент подъема»). Процент подъема можно лучше понять, если вы рассматриваете его как подъем, деленный на пробег (спуск), умноженный на 100. Рассмотрим треугольник B на рисунке внизу. Когда угол равен 45 градусам, подъем равен пробегу (спуску), а процент подъема равен 100 процентам. По мере того, как угол наклона приближается к вертикальному (90 градусов), как в треугольнике C , процент подъема стремится к бесконечности.

Инструмент «Уклон» чаще всего работает с набором данных высот, как показано на следующей диаграмме. Более крутые уклоны заштрихованы красным на выходном растре уклона.

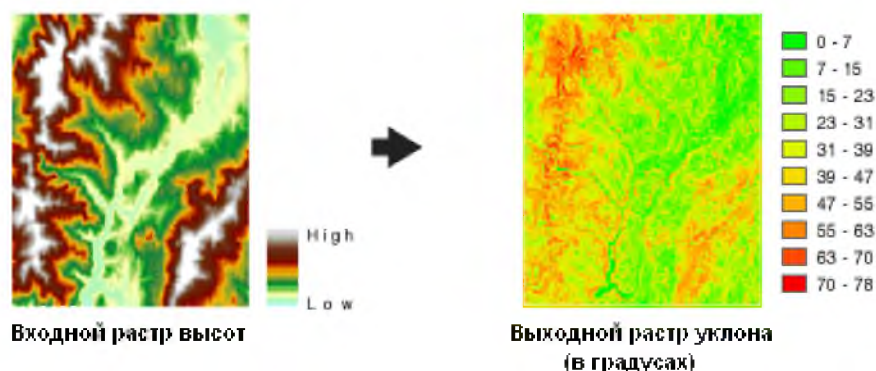


Рисунок 9 – Растр после операции «Уклон»

Алгоритм инструмента «Уклон»:

Шаг 1. Уклон определяет степень изменения (дельту) поверхности в горизонтальном (dz/dx) и вертикальном (dz/dy) направлениях из центральной ячейки. Базовый алгоритм, используемый для вычисления уклона:

$$slope_radians = ATAN (\sqrt{ [dz/dx]^2 + [dz/dy]^2 })$$

Шаг 2. Уклон обычно измеряется в градусах, используя алгоритм:

$$slope_degrees = ATAN (\sqrt{ [dz/dx]^2 + [dz/dy]^2 }) * 57.29578.$$

Исходным слоем для вычисления уклона является мозаика бассейна. Вычисление происходит через операцию «Уклон» (раздел модуля Spatial Analyst «Поверхность»).

На рисунке ниже представлен уклон поверхности реки Кемчуг.



Рисунок 10 – Уклон склонов бассейна реки Кемчуг

Уклон представлен в градусах, по легенде видно, что значения уклона небольшие, что говорит о плоской поверхности бассейна реки Кемчуг.

4.3 Вычисление стандартной, профильной и плановой кривизны поверхности

Функция «Кривизна» отображает форму или кривизну склона. Поверхность может быть вогнутой или выпуклой. Кривизна рассчитывается путем вычисления второй производной поверхности.

Выходные значения функции кривизны использованы для описания физических характеристик водосборного бассейна, которые могут помочь в понимании процессов эрозии и поверхностного стока. Также оно может использоваться для поиска закономерностей в эрозии почв, а также распределении воды на территории. Профильная кривизна влияет на ускорение

или замедление потока, и, следовательно, влияет на эрозию и депонирование осадков. Плановая кривизна (кривизна в плоскости) влияет на конвергенцию и дивергенцию потока.

Три параметра функции кривизны:

- входной растр – растр ЦМР, где в каждом пикселе хранится значение высоты;
- тип кривизны – описывает различные аспекты склона; есть три варианта типа кривизны: профиль, вид в плане и стандартный;
- Z-коэффициент – подгоняет единицы измерения Z, если они отличаются от единиц измерения x, y входной поверхности.

Если единицы измерения x, y и z одинаковы, то коэффициент z должен быть равен 1. Z-значения входной поверхности умножаются на этот коэффициент при вычислении выходной поверхности. Например, если единицы измерения для z-значений – футы, а координаты x, y приведены в метрах, для преобразования z-значений из футов в метры вы должны использовать коэффициент z, равный 0,3048 (1 фут = 0,3048 метра).

Кривизна профиля – это параллель к уклону, она описывает угол максимального уклона. Она влияет на ускорение и замедление потоков на поверхности. Отрицательное значение (A) означает, что поверхности в большинстве своем выпуклая в данной точке, и поток будет замедляться. Положительное значение (B) говорит о том, что поверхность в этой ячейке вогнутая, и поток будет ускоряться. Значение 0 указывает на то, что поверхность линейная (C).

Плановая кривизна – это перпендикуляр к направлению максимального уклона. Плановая кривизна связана с конвергенцией и дивергенцией потока на поверхности. Положительное значение кривизны (A) указывает на то, что поверхность в этой ячейке горизонтально-выпуклая. Отрицательное значение (B) указывает на то, что поверхность в этой ячейке горизонтально-вогнутая. Значение 0 указывает на то, что поверхность линейная (C).

Стандартная кривизна комбинирует плановую и профильную кривизну. Профильная кривизна влияет на ускорение или замедление потока, и, следовательно, влияет на эрозию и депонирование осадков. Плановая кривизна влияет на конвергенцию и дивергенцию потока. Учет обоих типов кривизны позволяет лучше понять поведение потоков на поверхности.

На рисунках 10, 11, 12 представлены типы кривизны поверхности.



Рисунок 11 – Профильная кривизна

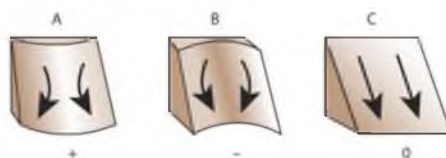


Рисунок 12 – Плановая кривизна

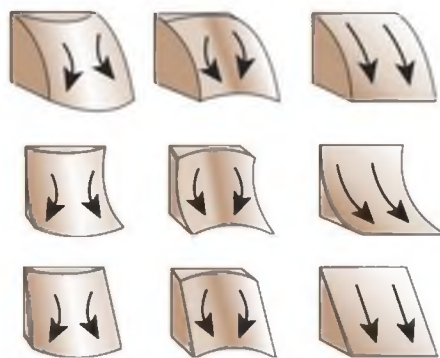


Рисунок 13 – Стандартная кривизна

Исходным слоем для вычисления уклона является мозаика бассейна. Вычисление происходит через операцию «Уклон» (раздел модуля Spatial Analyst «Поверхность»). На рисунках 13, 14, 15 представлены стандартная, профильная, плановая кривизна поверхности реки Кемчуг.

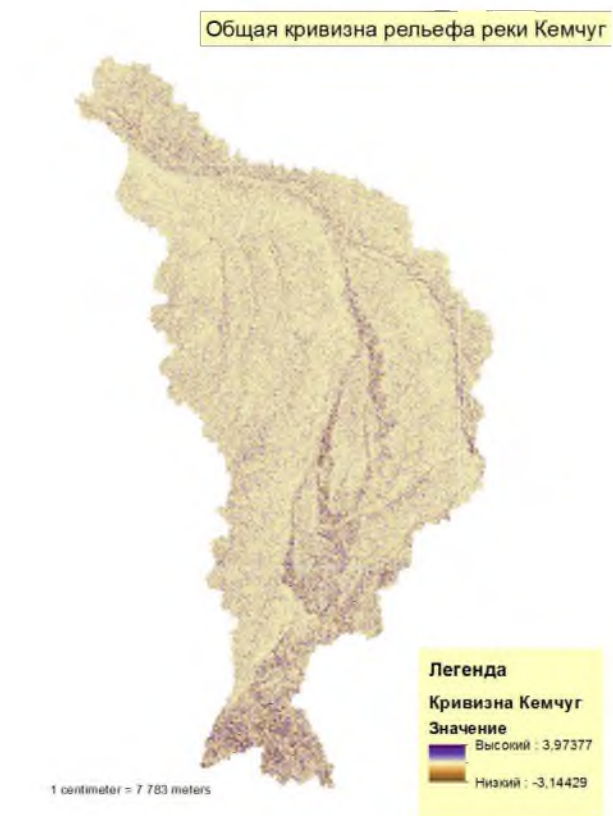


Рисунок 14 – Стандартная кривизна поверхности реки



Рисунок 15 – Профильная кривизна поверхности реки



Рисунок 16 – Плановая кривизна поверхности реки

По рисункам можно сделать вывод что поверхность бассейна реки Кемчуг является в равной степени выпуклой и вогнутой в общем, в профиле и в плане.

5 Вычисление климатических характеристик в пределах бассейнов

Данные о среднемесячных температурах и сумме осадков за месяц в формате архивов скачивались с сайта https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.00/cruts.1701270849.v4.00.

Распакованные архивы представляют собой растровые данные о температуре и осадках с пространственным разрешением 0,5 градуса. Это глобальное покрытие в формате netCDF. Файл с температурой содержит информацию о среднемесячной температуре с 1901 по 2015 год. Данные по осадкам собраны в файлы по десятилетиям. Поскольку данные о стоке имеются с 1930 года, то и климатические данные использовались за это время.

Файл формата netCDF были открыты в ArcGIS. Важный момент – отметить, что данные имеют координату «время» и по ней изменяются. Данные были экспортированы в формат geotiff. Затем были построены:

- пространственное подмножество – ограничение полигоном на территорию, содержащую все бассейны рек;
- подмножество слоёв – с 1930 года.

Данные поверхностного стока рек имеются как суммарный годовой поверхностный сток. Поэтому необходимо было пересчитать из исходных данных по температуре среднегодовую температуру, а по данным об осадках – суммарные осадки за год. Для этого использовалась программа руководителя дипломной работы, написанная в модуле графического программирования Model Maker в ГИС ERDAS Imagine.

Полученные слои среднегодовой температуры с 1931 по 2015 год и суммарного годового количества осадков с 1931 по 2015 год были объединены в один файл температуры и один файл осадков. Из этих растровых наборов затем с помощью операции «Зональная статистика» были извлечены средние характеристики по бассейнам.

6 Использование зональной статистики ArcGIS и заполнение проекта QGIS

6.1 Вычисление характеристик с помощью зональной статистики ArcGIS

С помощью инструмента «Зональная статистика» (Zonal Statistics) статистика вычисляется для каждой зоны, определенной набором данных зоны на основе значений из другого набора данных (растр значений). Для каждой зоны входного набора данных зоны вычисляется одно выходное значение.

Инструмент «Зональная статистика в таблицу» (Zonal Statistics as Table) вычисляет все, поднабор или одну статистику, корректную для определенных

входных данных, но в качестве результата выдает таблицу вместо выходного растра.

Зона – это все ячейки растра, которые имеют одно значение, не зависимо от того, являются ли они непрерывными или нет. Входной слой зон определяет форму, значения и местоположения зон. Для входных данных зон указывается целочисленное поле, определяющее зоны. Также может использоваться строковое поле. Наборы растровых данных и наборы классов объектов могут использоваться для набора данных зоны.

Входной растр значений содержит входные значения, используемые в вычислении выходной статистики для каждой зоны.

На следующем рисунке (рисунок 16) слой Зона (Zone) показывает входной растр, который определяет зоны. Слой Значение (Value) содержит входные данные, для которых будет вычислена статистика для каждой зоны. В этом примере, для каждой зоны будет определяться максимальное из входных данных значений.

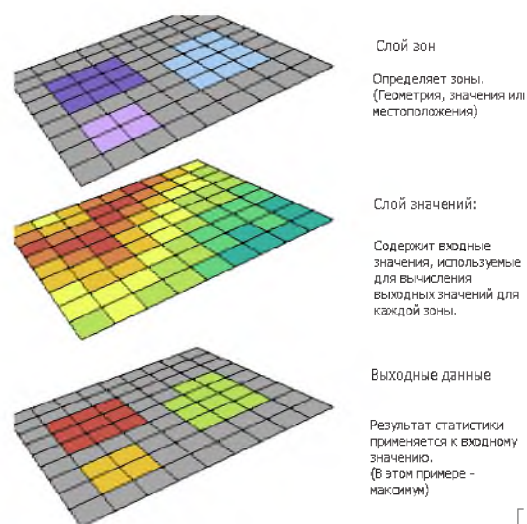


Рисунок 17 – Пример входных и выходных данных инструмента «Зональная статистика»

Тип выходных данных определяется типом вычисляемой выбранной статистики и типом входных значений (I – целочисленные значения, F – значения с плавающей точкой). В следующей таблице представлены вычисляемые инструментом характеристики.

Таблица 1 – Статистика

Статистика	Результат
Большинство (Majority)	Наиболее часто возникающее значение каждой зоны будет присвоено всем ячейкам этой зоны. Когда для значения большинства в зоне существует связь, в качестве выходных данных всем ячейкам в зоне будет присвоено наименьшее из связанных значений.
Максимум (Maximum)	Самое большое значение каждой зоны присваивается всем ячейкам этой зоны.
Среднее (Mean)	Среднее значение каждой зоны присваивается всем выходным ячейкам этой зоны.
Медиана (Median)	Медиана значений каждой зоны присваивается всем выходным ячейкам этой зоны. Для вычисления значения медианы все ячейки в зоне ранжируются. Если количество ячеек в зоне - n , и число n - нечетное, для каждой ячейки в зоне записывается среднее значение $(n/2)$. Если количество ячеек четное, выходное значение будет равно $(n/2)-1$.
Минимум (Minimum)	Минимальное значение каждой зоны присваивается всем ячейкам этой зоны.

Продолжение таблицы 1

Меньшинство (Minority)	<p>Наименее часто возникающее значение каждой зоны присваивается всем ячейкам этой зоны.</p> <p>Когда для значения меньшинства в зоне существует связь, в качестве выходных данных всем ячейкам в зоне будет присвоено наименьшее из связанных значений.</p>
Разнообразие (Variety)	Количество уникальных значений в каждой зоне присваивается всем ячейкам этой зоны
Диапазон (Range)	<p>Разница между максимальным и минимальным значениями каждой зоны присваиваются всем ячейкам этой зоны.</p> <p>Диапазон определяется следующим образом:</p> $\text{Zonal Range} = \text{Zonal Maximum} - \text{Zonal Minimum}$
Стандартное отклонение (STD)	<p>Всем ячейкам этой зоны присваивается стандартное отклонение значений каждой зоны.</p> <p>Формула расчета среднеквадратичного отклонения:</p> $\text{Std} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$
Сумма (Sum)	<p>Сумма всех значений ячеек каждой зоны присваивается всем ячейкам этой зоны.</p> <p>Тип данных выходного раstra - числа с плавающей точкой.</p>

В результирующих таблицах Excel указаны статистики среднего, максимума, минимума, диапазона значений.

Статистика вычислена по данным ЦМР, экспозиции склонов, уклонов поверхности бассейнов рек, кривизне поверхности (стандартной, профильной, плановой), климатическим показателям (температуре, осадкам).

6.2 Добавление данных в проект ArcGIS

Проект содержит в себе файл проекта, а также shape-файл водосборных бассейнов, слои ЦМР, таблицы с данными по рельефу, лесистости и климату, связанных с shape-файлом.

Для добавления статистических данных необходимо:

- обработанную таблицу XLSX с идентификаторами, сохранить в формате CSV;
- нажать на кнопку в QGIS «Добавить слой CSV»;
- задать необходимые параметры добавления нового слоя;
- открыть свойства shape-файла с водосборными бассейнами, в разделе связи добавить связь с новыми данными.

Атрибутивная таблица при добавлении новыми данными будет меняться, то есть будут добавляться новые поля, с новыми данными.

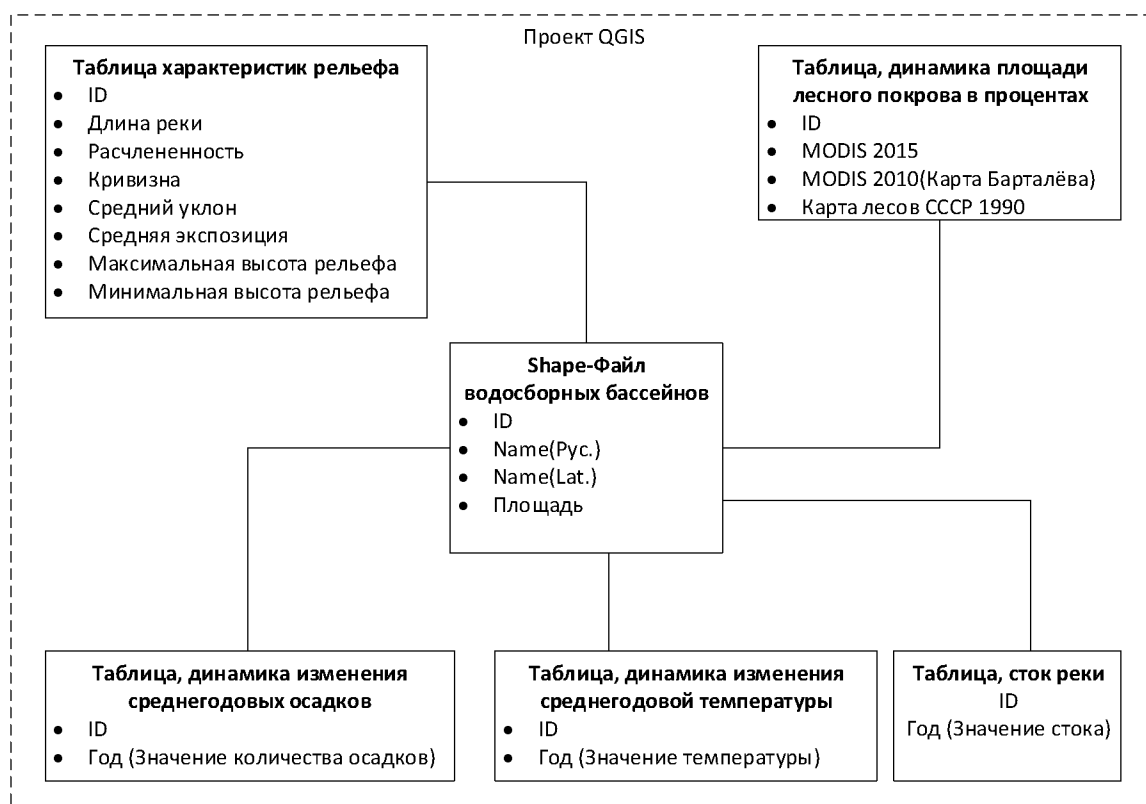


Рисунок 18 – Структура проекта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате бакалаврской работы была достигнута цель – создание проекта QGIS, для гидрологического моделирования и анализа зависимости величины поверхностного стока от:

- ландшафтных характеристик бассейна (высота над уровнем моря, экспозиция склонов, уклон, кривизна (стандартная, профильная, плановая));
- климатических характеристик (среднемесячные температуры и осадки, среднегодовая температура и сумма осадков);
- антропогенных характеристик (лесистость, и ее изменения).

Цель достигнута, так как выполнены следующие задачи:

- выполнено построение бассейнов по данным цифровой модели рельефа, с использованием функций ArcGIS;
- построена сеть водотоков;
- определены ландшафтные и климатические характеристики в пределах бассейнов;
- рассчитана вертикальная и горизонтальная расчлененность;
- создать проект QGIS, включающий все собранные данные.

Проект включает в себя растровые слои экспозиции, уклона, кривизны поверхности бассейнов, векторный слой бассейнов, векторный слой рек с данными о расчлененности рельефа, статистические данные о характеристиках и стоке рек в формате таблиц, связанных через поле id.

На основе данного проекта можно проводить дальнейший анализ влияния собранных характеристик на поверхностный сток рек.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Носков, В.М. О взаимосвязи гидрологии и метеорологии [Текст] / В.М. Носков // Дискуссии. – Географический вестник, 2014. – С.2 (29).
2. Орлова, Е.В. Определение географических и гидрологических характеристик водных объектов с использованием ГИС-технологий [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (25.00.27) / Орлова Елена Викторовна; Государственный Гидрологический Институт. – Санкт-Петербург, 2008. – 218 с.
3. Abbaspour K. C., Rouholahnejad E., Vaghefi S. et al. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model//Journal of hydrology, Vol. 524, P. 733-752.
4. Сайт международной компании Esri – основоположника и мирового лидера рынка геоинформационных систем [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.esri-cis.ru/>.
5. Сайт программного обеспечения QuantumGIS [Электронный ресурс]: Документация. Режим доступа: <http://www.qgis.org/ru/docs/index.html>
6. WinSCP – Free SFTP, SCP and FTP client for Windows [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://winscp.net/eng/docs/lang:ru/>.
7. Сайт Геологической службы США. USGS [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.esri-cis.ru/>.
8. Сайт мировой климатической исследовательской группы Великобритании. UEA.ac [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.cru.uea.ac.uk/>.
9. Сайт справки по продуктам ArcGIS, ArcGIS Resources [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/>.
10. Диденко, П.А. Балльная оценка природного потенциала ландшафтов (на примере степной провинции ставропольской возвышенности) /. – Наука. Инновации. Технологии., 2013. – С.117 (123).

11. Сайт научно-популярной энциклопедии «Вода России»
[Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://water-rf.ru/>.